

## **СЕКЦИЯ 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОЛУЧЕНИЮ НОВЫХ СПЛАВОВ В РЕЖИМЕ СВС И ВЛИЯНИЮ ГРАВИТАЦИИ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 1 ДО 1000G НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МИКРОСТРУКТУРУ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ**

*Андреев Д.Е.*

*Руководитель – д.т.н. Санин В.Н.*

Учреждение Российской академии наук Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, г. Черноголовка,  
ade@ism.ac.ru

Металлические сплавы на основе интерметаллидов никеля, кобальта, хрома и железа широко используют в качестве жаростойких материалов в авиационной промышленности, в металлургии в качестве лигатур и модификаторов сталей, а также для нанесения защитных покрытий методами плазменного напыления и электродуговой наплавки.

Основным методом получения таких сплавов является печная металлургия. В металлургии при получении высококачественных сплавов используют в качестве исходного сырья дорогостоящие чистые металлические материалы. Все известные промышленные методы получения сплавов высокоэнергозатратны. Сложность многостадийной технологии и высокая стоимость исходных компонентов сплава определяют высокую стоимость получаемых сплавов. Поэтому такие сплавы нашли свое применения только для работы в экстремальных условиях (одновременного воздействия высоких температур, механических нагрузок, агрессивной среды и т.д.).

Эффективность и долговечность создаваемых машин и агрегатов во многом зависит от качества используемых материалов (их физико-химических характеристик их структуры). Однако уже сегодня многие используемые материалы работают на пределе своих свойств. Проблему создания новых материалов для инновационных отраслей промышленности решают как в России, так и в США, Европе, Китае, Индии и др. Новым эффективным методом получения композиционных металлических и керамических материалов является СВС-металлургия, которая была успешно использована для получения литых твердых сплавов и износостойких покрытий [1, 2].

В данной работе проводились исследования по получению сплавов (лигатур) на основе Ni, Co и Fe методом СВС-металлургии, изучались

закономерности горения, фазоразделения металлической и оксидной фаз в расплаве, а также влияние повышенной гравитации на химический состав продуктов горения.

В качестве объектов исследования были выбраны следующие системы, которые можно разделить на две группы:

- 1)  $\text{NiO} - \text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Al}$ ,  $\text{NiO} - \text{Co}_3\text{O}_4 - \text{Al}$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4 - \text{V}_2\text{O}_5 - \text{Al}$ ;
- 2)  $\text{NiO} - \text{Co}_3\text{O}_4 - \text{MnO}_2 - \text{Al}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Co}_3\text{O}_4 - \text{V}_2\text{O}_5 - \text{Al}$ .

В первой группе варьировали взаимным соотношением оксидов металлов в расчете на стехиометрическое восстановление  $\text{Ni} - \text{Cr}$ ,  $\text{Ni} - \text{Co}$  и  $\text{Co} - \text{V} + 5$  вес. % избыточного  $\text{Al}$ . Во второй группе содержание  $\text{Ni}$  и  $\text{Fe}$  было зафиксировано, а варьировали взаимными соотношениями  $\text{Co} - \text{Mn}$  и  $\text{Co} - \text{V}$  в расчете на стехиометрическое восстановление металлов без избыточного алюминия.

Исследования закономерностей горения как в нормальных условиях (1g), так и при повышенных перегрузках (до 1000g) проводили в кварцевых формах.

Расчет адиабатической температуры горения и состава конечных продуктов, выполненный в программе ТЕРМО, показал, что реализуемая температура для всех систем за исключением  $\text{NiO} - \text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Al}$  составляет  $3000 \pm 150$  К, по мере увеличения добавки  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в смеси температура горения падает от 3000 до 2300 К, в свою очередь доля газовой фазы в этой системе также падает, а продукты горения переходят в конденсированный вид.

Предварительная серия экспериментов в нормальных условиях:  $a = 1g$  и  $P = 1$  атм. показала, что скорость горения изменяется в интервале от 3 до 0,4 см/с для разных систем, процесс горения сопровождается разбросом продуктов реакции, выход целевой фазы в слиток проходит через максимум в зависимости от взаимного соотношения компонентов смеси.

Из предшествующего опыта известно, что воздействие повышенной гравитации благоприятно влияет на выход металлической фазы в слиток, микроструктуру и химический состав [2, 3]. Для каждой из пяти систем был выбран определенный состав на получение сплава, синтез проводили в центробежных установках. На рисунке 1 а, б приведен внешний вид образцов после синтеза при перегрузке 1 и 1000g, соответственно.



Рисунок 1. Внешний вид продуктов синтеза в системе  $\text{NiO} - \text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Al}$

На рисунке 2 а, б приведена микроструктура металлической части слитка Ni – Cr – Al при 1 и 1000g, соответственно.

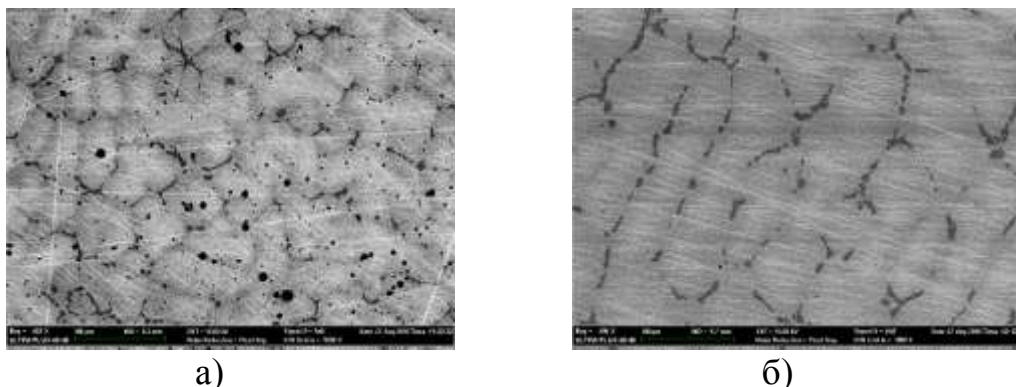


Рисунок 2. Микроструктура сплава Ni – Cr – Al

Проведенные исследования показали, что варьирование соотношением компонентов позволяет получать сплавы различного состава.

Воздействие перегрузки благоприятно влияет на процесс разделения металлической и оксидной составляющих слитка, значительно снижает содержание неметаллических включений в сплаве.

Было отмечено, что повышенная гравитация влияет на структурообразование в силу увеличения конвективного перемешивания расплава, кроме того, увеличение конвекции и высокой температуры горения приводит к взаимодействию сплава с материалом формы, образованию силицидов.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ грант № 10-03-91219-СТ

Используемые литературные источники:

1. В.И. Юхвид. Высокотемпературные жидкофазные СВС-процессы: новые направления и задачи // Цветная металлургия. 2006. № 5. С. 62 – 78.
2. V.N. Sanin, D.E. Andreev, V.I. Yuxhvid. SHS metallurgy of superalloys, from high gravity to microgravity. Proceedings of 59th International Astronautical Congress (September, 29 – October, 3, Glasgow, Scotland, 2008).
3. Д.Е. Андреев, В.Н. Санин, В.И. Юхвид. Получение литых сплавов на основе алюминидов титана методом центробежного СВС // Неорганические Материалы. 2009. Т. 45, № 8. С. 934 – 940.